

燃えしろ設計に付随する接合部の 防火設計について

(株) 木質構造計画ラボ
北村 俊夫

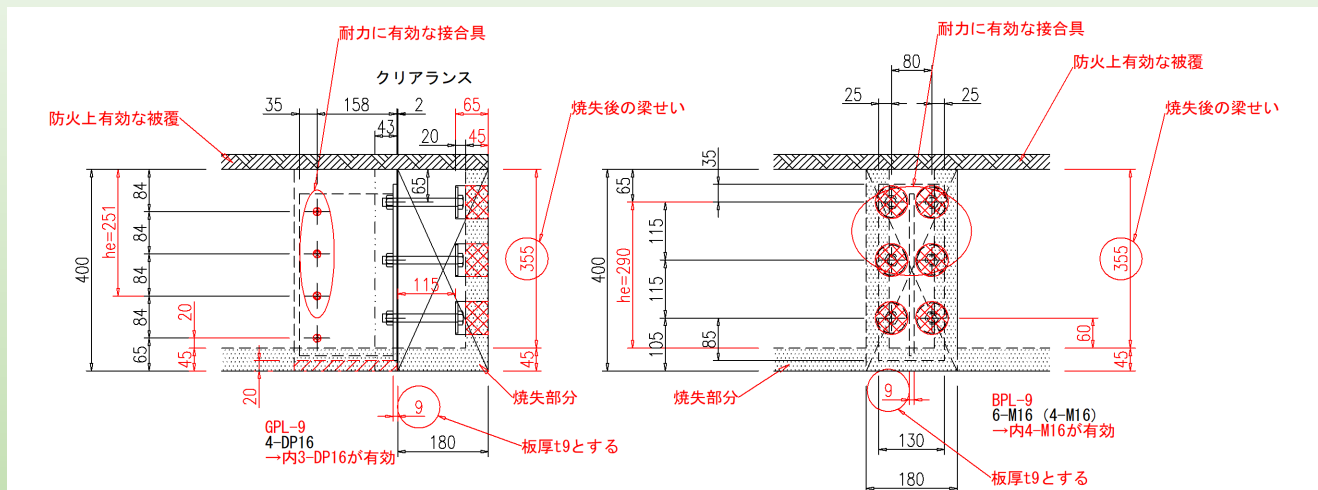


はじめに

スパン表の接合部は、燃えしろに非対応で、別途計算としている。

燃えしろに対応するためには、焼失部分を適切に減じた接合部耐力の計算が必要になる。

そこで、ここでは、1時間準耐火の燃えしろ設計を想定した床梁（床梁天端は防火上有効に被覆された3面燃えしろ）の製作金物の防火設計の例と、金物工法の規格金物（3面燃えしろ）を採用する際の注意点を解説する。



1.法令上の接合部の防火措置-1

昭62建告第1901号の規定より、柱やはりの継手、柱とはりの仕口等の接合部に対して、次(①~④)の防火措置が必要になる。

①柱又ははりを接合する継手又は仕口(床下の部分を除く)の部分表面から内側に、燃えしろに相当する部分を除いた断面が、その継手又は仕口の存在応力を伝えることができる。

→燃えしろ焼失後の断面で接合部の耐力の計算をする。
 →今回の例は床下の部分=梁天端はRCや石膏ボード等で防火上有効な被覆がされた3面燃えしろとする。

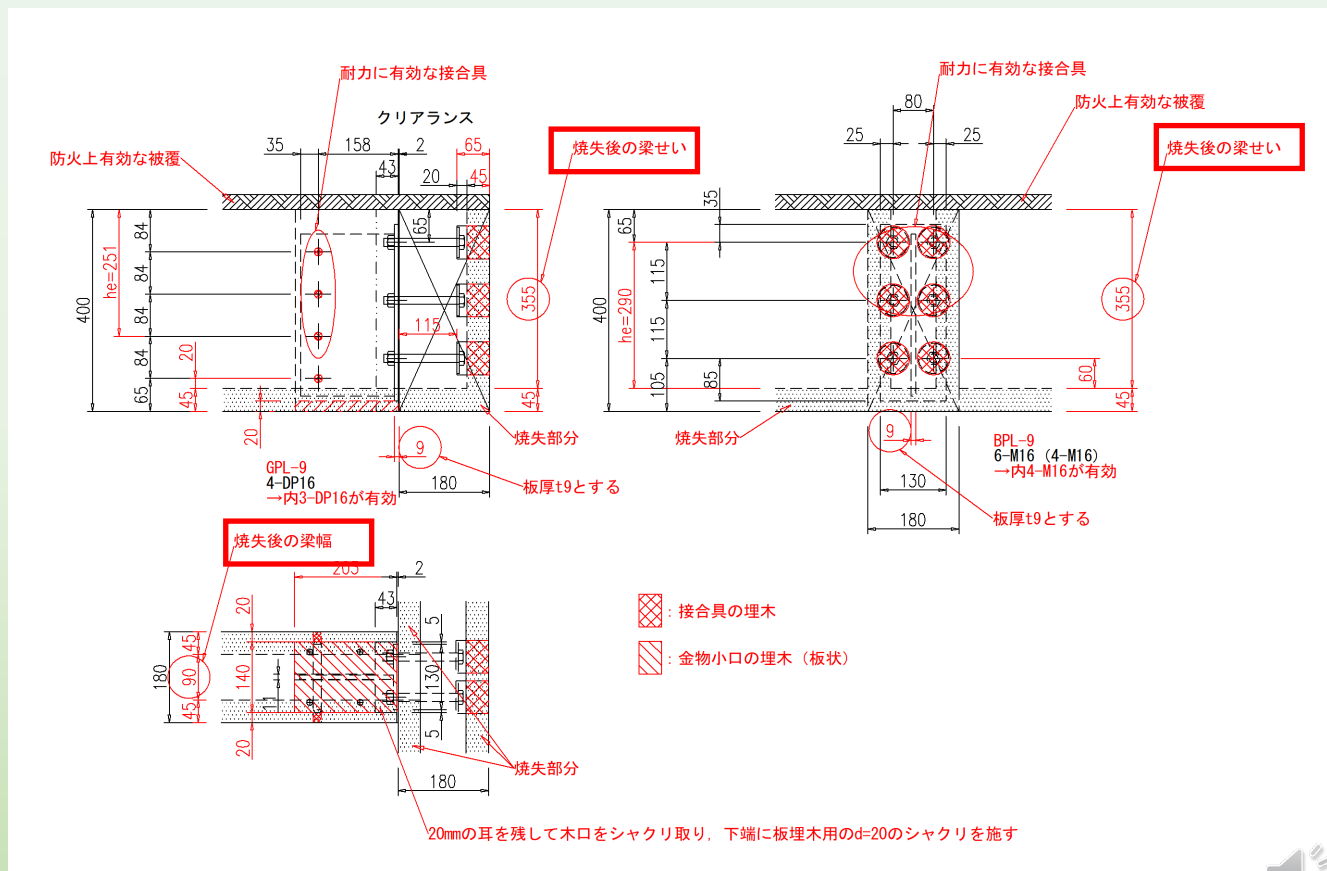


図 桁-床梁接合部

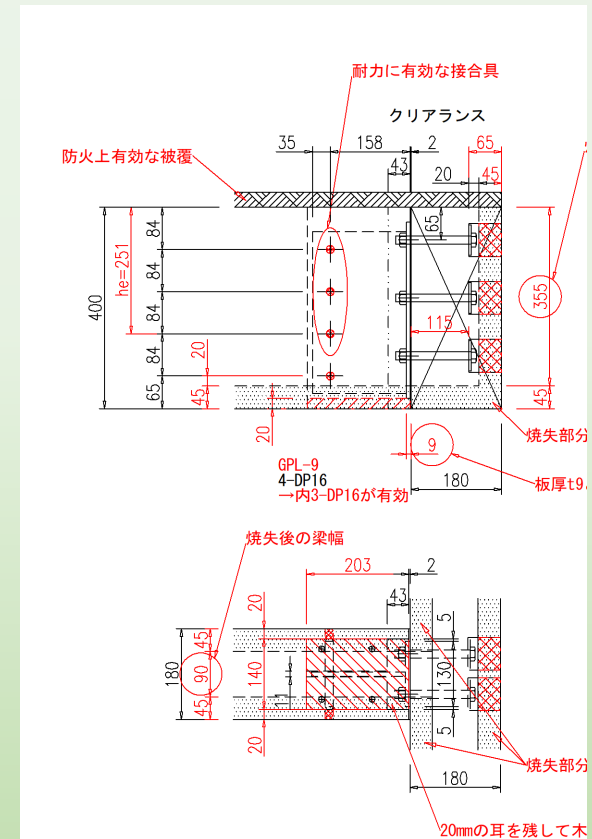
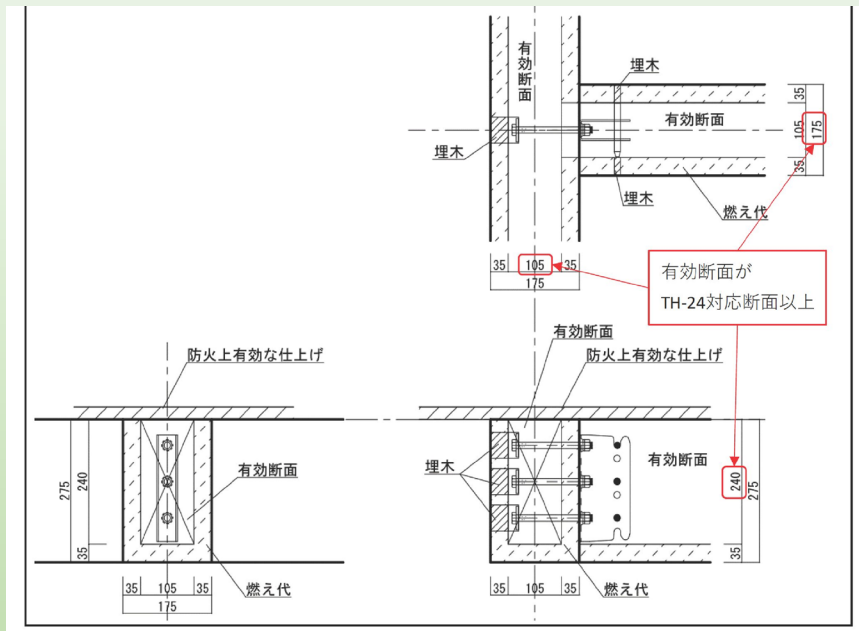
1.法令上の接合部の防火措置-2

昭62建告第1901号の規定より、柱やはりの継手、柱とはりの仕口等の接合部に対して、次（①～④）の防火措置が必要になる。

②継手又は仕口にボルト、ドリフトピン等を用いる場合は、木材その他の材料で防火上有効に被覆する。具体的には、接合部全体を燃えしろの値に相当する厚さの木材やその他の防火部材により被覆する。

→燃えしろと同じ埋木をすればよいが、設計上（接合耐力の不足等）や施工上（埋木手間が過大等）難がある。

→被覆の厚さを減ずる方法（耐火実験による確認）をこのあと解説する。

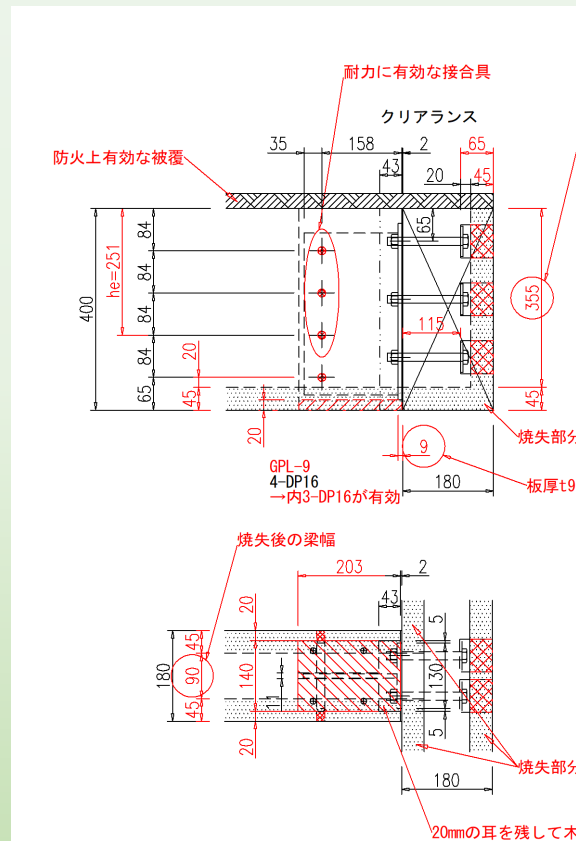


1.法令上の接合部の防火措置-3

昭62建告第1901号の規定より、柱やはりの継手、柱とはりの仕口等の接合部に対して、次（①～④）の防火措置が必要になる。

③継手又は仕口に添板鋼板を用いる場合、防火上有効に被覆するか、木材内部に埋め込むか、又は挟み込む。

→燃えしろと同じ埋木をすればよいが、設計上や施工上難がある。



1.法令上の接合部の防火措置-4

昭62建告第1901号の規定より、柱やはりの継手、柱とはりの仕口等の接合部に対して、次（①～④）の防火措置が必要になる。

④鋼製のピンジョイントを用いる場合、鋼板の厚さは9mm以上とする。

→3ヒンジ山形ラーメンの頂部のイメージ

|| 3 || 棟(頂部)接合部(ピン接合)

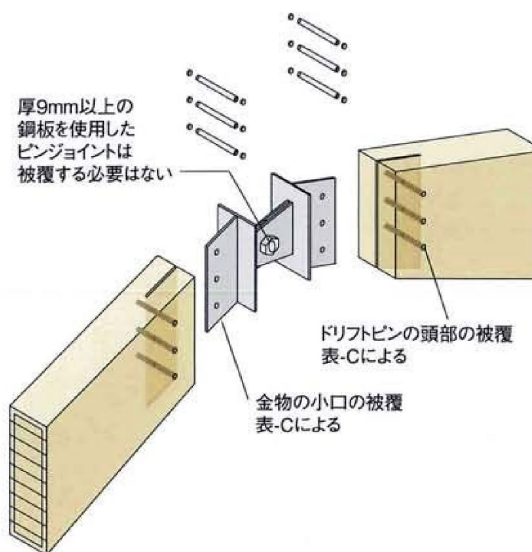
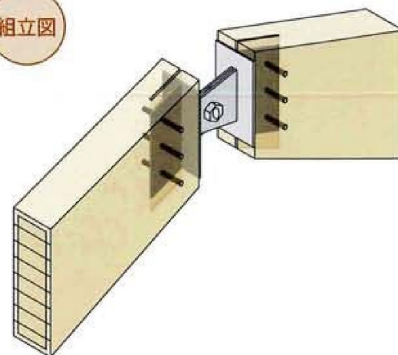
図7 棟のピン接合

図に示す例では、接合金物の小口やドリフトピンの頭部の防火被覆は必要である。厚さ9mm以上の鋼板を使用したピンジョイント部分で、長期荷重に対して材軸方向の圧縮力のみが作用する場合には、防火被覆は必要ない(露出してよい)。

■被覆厚さ(金物の小口、ドリフトピンの頭部) 表-C

30分耐火	被覆なし
45分耐火	1.0cm
1時間耐火	2.0cm

組立図

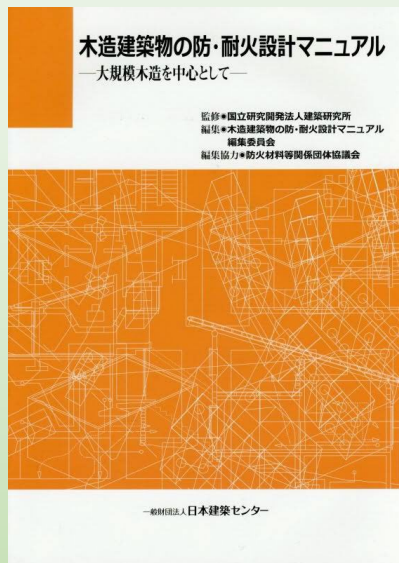


1.法令上の接合部の防火措置-5



設計上と施工上の難がある②と③について、日本集成材工業協同組合では、接合部の耐火試験を行い、安全性を確認した上で、接合部の防火設計の資料として「準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き」（以降、手引き）を発行している。

その内容は日本建築センターの「木造建築物の防・耐火設計マニュアル」に引用され、設計資料として効果がある。



2. 接合部の耐火試験の内容-1

(3) T型金物による接合部

T型金物を用いた構造用集成材の柱・はり仕口試験結果を表3.3-6に示す。何れの試験体も

柱・はりの相対変位量の少なく、T型金物部分の最高温度も、254.4℃(被覆厚さ20mm)、~~170.4~~^{178.8}℃(被覆厚さ30mm)、82.9℃(被覆厚さ45mm)と木材の炭化温度である260℃以下であった。(写真3.3-2)

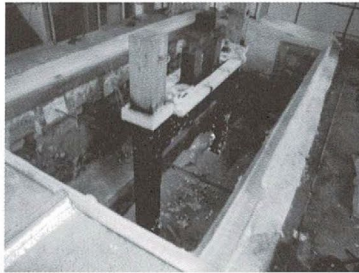


写真3.3-2 構造用集成材柱・はり接合部の加熱試験例

日本集成材工業協同組合H22国土交通省補助事業報告書におけるT型接合部の試験の内容
(木造建築物の防・耐火設計マニュアル(日本建築センター:令和4年1月第2版pp166~167))

表3.3-6 T型金物による柱・はり仕口試験結果

表3.3-6 T型金物による柱・はり仕口試験結果

試験材料	断面寸法(mm)	取付	ドリフトピン	接合金物	柱・はり相互	加熱時間	T型金物の温度	
構造用集成材	柱	240×240	ボルト	木栓 深さ 20mm	埋木 深さ 20mm	60.0 ^{*)} (試験終了)	195.6℃ 254.5℃	日本集成材工業協同組合H22年度国土交通省補助事業報告書 ⁵⁾
	はり	200×400						
	柱	240×240	ネジ	木栓 深さ 45mm	埋木 深さ 45mm	66.0 (変形量制限値以下)	82.9℃ 78.3 72.2	
	はり	200×400						
	柱	240×240	ラグボルト	木栓 深さ 20mm	埋木 深さ 20mm	66.0 (変形量制限値以下)	222.2℃ 170.4℃ 178.8	
	はり	200×400						

試験①

試験②

^{*)} 載荷用ジャッキの倒れにより45分で載荷は中止、変形量は45分の値

2.接合部の耐火試験の内容-2

試験①：60分の加熱に対し、PL-9で構成されたT型金物のドリフトピン頭部の被覆を20mm、接合金物の小口の被覆20mmと、最小限の被覆とした場合にT型金物の温度が木材の炭化温度である260°Cを下回ることを確認した。

→「準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き（日本集成材工業協同組合：平成24年3月）」の内容に反映

図3 柱とりの接合部(3) 接合金物を用いた例

図に示す例では、せん断面までの距離が十分でない場合のボルトの頭部や外部に露出した接合金物は、木材などによる防火被覆が必要である。

■被覆厚さ(金物の底面、ボルトの頭部) 表-A		■被覆厚さ(金物の側面) 表-B	
30分耐火	2.5cm	30分耐火	1.0cm
45分耐火	3.5cm	45分耐火	2.0cm
1時間耐火	4.5cm	1時間耐火	2.0cm

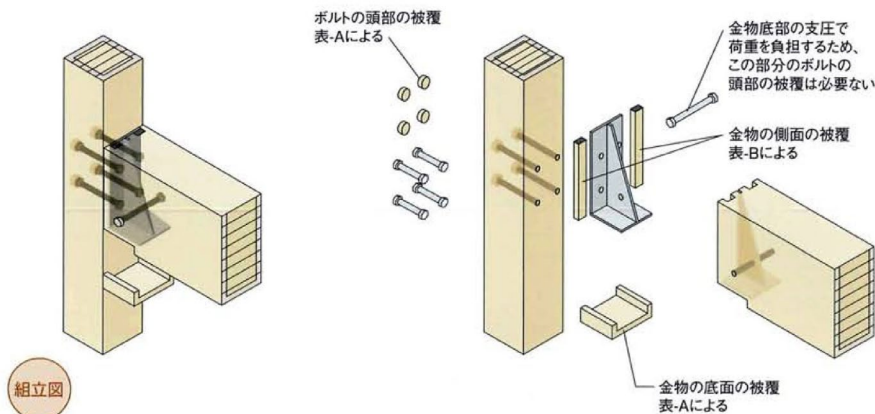


図9 小ばりの接合部(2)

図に示す例では、露出するボルト頭部やドリフトピンの頭部、金物の小口、側面や下部は、木材などにより被覆する必要がある。挟み込みタイプの接合金物では、せん断面までの距離が十分である場合、接合金物の小口は防火被覆する必要はない。

■被覆厚さ(ボルトの頭部) 表-A		■被覆厚さ(金物の小口、ドリフトピンの頭部) 表-C	
30分耐火	2.5cm	30分耐火	被覆なし
45分耐火	3.5cm	45分耐火	1.0cm
1時間耐火	4.5cm	1時間耐火	2.0cm

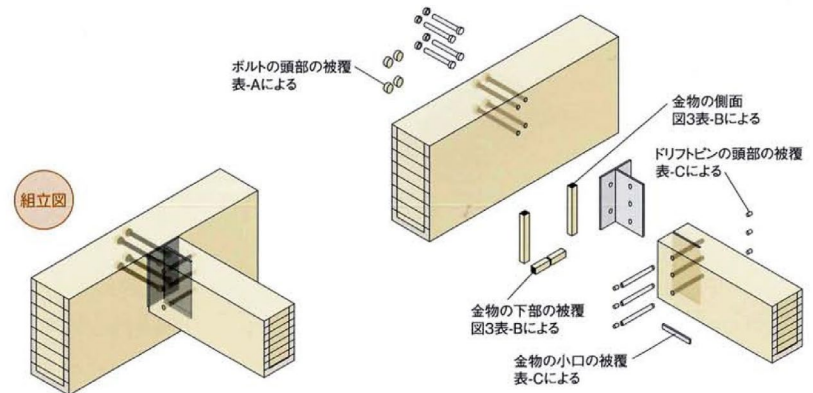


図 準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き 抜粋

2.接合部の耐火試験の内容-3

試験②：60分の加熱に対し、PL-9で構成されたT型金物のドリフトピン頭部の被覆を45mm、接合金物の小口の被覆45mmと、1時間の燃えしる断面と等価な被覆とした場合の試験結果は、T型金物の温度は最大で82.9℃と木材の炭化温度である260℃を大きく下回ることを確認した。

→建告第1901号第二項、第三項の確認ができた。

→小梁の金物工法の接合部はこの考えとする。

金物工法接合部の燃え代設計について

準耐火建築物で、木材の構造躯体をあらわして使用したい場合、「燃え代設計」を行う必要があります。

接合部で使用される接合金物や接合具も「燃え代」を考慮する必要があります。

※昭62建告第1901号・平12建告第1358号・平27国交告第253号

■柱・梁の燃え代寸法

要求耐火時間	製材	集成材
準耐火30分	30mm	25mm
準耐火45分	45mm	35mm
準耐火60分	60mm	45mm

燃え代寸法を差し引いた有効断面が、梁受金物やホゾパイプといった接合金物の適用断面より大きければ、接合部耐力を採用できます。

<参考例>

- ・ 要求性能 : 準耐火45分
- ・ 使用金物 : TH-24
- ・ 木材種別 : 集成材
→燃え代寸法:35mm
- ・ あらわし条件 : 3面あらわし
- 105×240以上の有効断面が必要

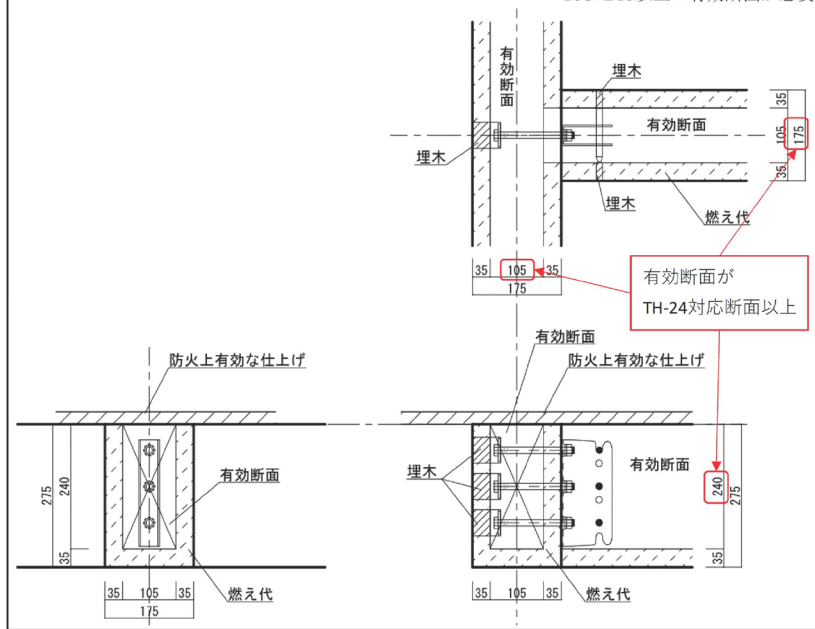


図 金物工法の技術資料の例
(タツミ)

3. 接合部の防火設計の例

3.1 接合部の納まり例

事務所 小梁間隔1.0mの内、
 180×400の納まり例（カラマツ・
 スパン6m・床梁間隔2m）の桁-床
 梁接合部を例とする。梁の上面は
 防火上有効な措置がなされてい
 とし、3面燃えしろを想定する。
 また、1時間の燃えしろ（45mm）
 を想定する。上図に燃えしろなし
 の、下図に燃えしろありの接合詳
 細図を示す。燃えしろありの桁の
 幅は180mmとし、埋木の仕様は前
 述（p9）の手引きの埋木のルー
 ルの図をもとに設定している。接合
 部の検定は、長期に生じる応力を
 短期の接合部耐力が上回ることを
 確認する。なお、断面の焼失に
 よって所定の縁距離が確保できな
 い接合具は耐力算定に有効ではな
 いので注意が必要である。

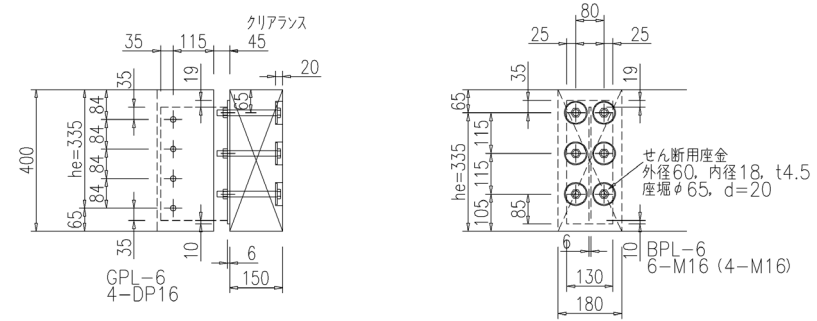


図 燃えしろなし

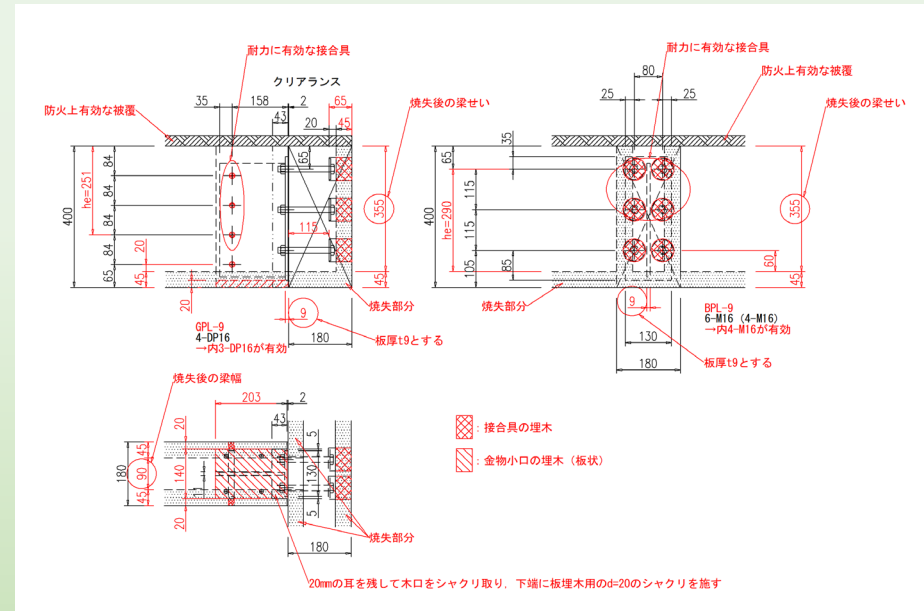


図 燃えしろあり

3. 接合部の防火設計の例

3.2 接合部の設計例

図に示す床梁の繊維直角方向に19.5kNの長期のせん断力を受けるドリフトピン接合部及び桁の繊維直角方向に19.5kNの長期のせん断力を受けるボルト接合部の検定を行う。なお、「製作金物の設計例の解説」と同じ床梁を対象としているため、以降、内容が違うところを赤字で示すので是非セットで見てください。

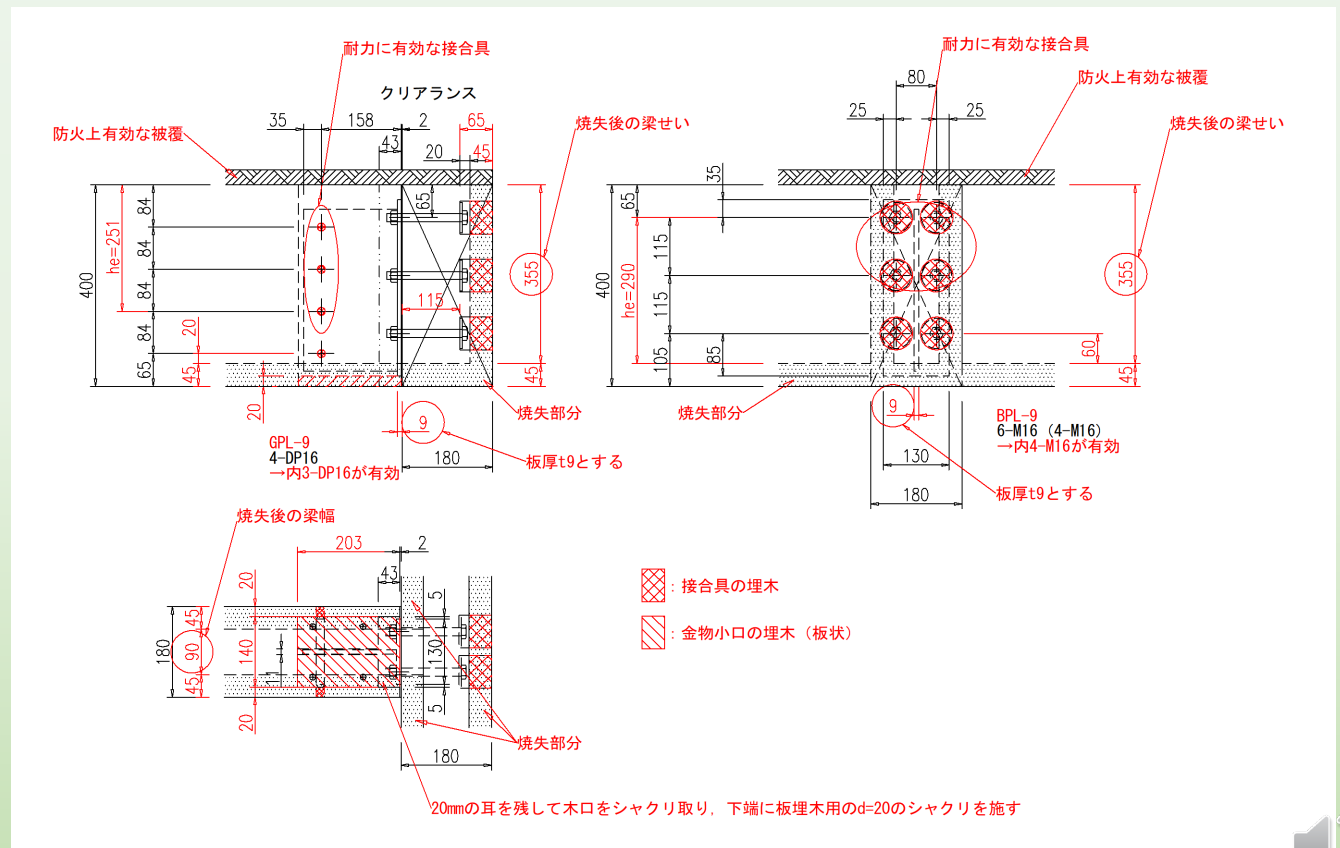


図 桁-床梁接合部

(1) 設計条件

- 木 材：構造用集成材（対称異等級構成集成材，
樹種：からまつ，樹種グループJ1） E105-F300
180×400(mm)（床梁）， 180×400(mm)（桁）
- 鋼 材：SS400 厚さ9(mm)
- ドリフトピン：φ16(SS400)， $F = 235(\text{N/mm}^2)$
- ボルト：M16(SS400)， $F = 235(\text{N/mm}^2)$
- 接合形式：床梁：(iii)鋼板挿入2面せん断型，
桁：(v)鋼板添え板1面せん断型
- 設計応力： $Q = 19.5(\text{kN})$ （長期）

(2) 耐力算定-1 ①床梁の単位接合部の p_y

①単位接合部の降伏耐力 p_y (床梁) :

事例集p.9~14に従い, まず始めに単位接合部の降伏せん断耐力 p_y を求める.

事例集 表2.2.3より $\perp F_e = 12.7(\text{N/mm}^2)$, 設計条件より $d = 16(\text{mm})$,

ドリフトピンの有効長さは, $l = 180 - 11 - 45 \times 2 = 79(\text{mm})$

※有効長さ = ドリフトピン全長180mm - (挿入鋼板厚9mm+クリアランス2mm)
- 燃えしろ45mm×2 (両面)

事例集 表2.2.6より, 降伏モード **I** となり, $C = 1$ (→接合種別**JC**)

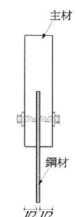
よって事例集(2.2)式より, $\perp p_y = 1 \times 12.7 \times 16 \times 79 = 16052(\text{N})$

表 2.2.3 樹種グループと基準支圧強度 F_e の値 ($8\text{mm} \leq d \leq 26\text{mm}$)

樹種グループ	樹種	基準比重	基準支圧強度 F_e (N/mm ²)						
			荷重角度						
			0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
J1	べいまつ・からまつ等 (比重 0.50 程度)	0.42	25.4	23.8	20.3	16.9	14.5	13.1	12.7
J2	ひのき等 (比重 0.44 程度)	0.37	22.4	21.0	17.9	14.9	12.8	11.6	11.2
J3	スプルー・ス・すぎ等 (比重 0.38 程度)	0.32	19.4	18.2	15.5	12.9	11.1	10.0	9.7

注) 荷重角度とは, 接合具による支圧の方向と当該木材の繊維方向とのなす角度をいい, 荷重角度(θ)における基準支圧強度(θF_e)は, (2.3)式により求める.

表 2.2.6 接合形式 (iii) : 鋼板挿入 2 面せん断型*

接合形式	降伏モード	C の計算式 (下式のうち最小値を取る)	接合種別	r_u	
				ボルト	ドリフトピン
	I	1	JC	1.0	1.0
	III	$\sqrt{2 + \frac{8}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$	JB	1.1	
	IV	$\frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3} \gamma}$	JA	1.2	

* ドリフトピン接合部が繊維平行方向の応力を受ける場合は, ボルト接合部を併用するなどして終局時にセンタースリット部で主材が割裂破壊しないようにすること.

[規準 602.2 (2) (a) 単位接合部]

単位接合部の設計用許容せん断耐力(p_a)は以下による.

$$p_a = \frac{1}{3} \cdot j K_d \cdot K_m \cdot r_u \cdot p_y \quad \text{-(2.1) (木規準 p.39 (6.20)式)}$$

p_y : 単位接合部の降伏せん断耐力(N)

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad \text{-(2.2) (木規準 p.30 (6.4)式)}$$

$$\gamma = F / F_e = 235 / 12.7$$

F : 接合具の基準強度 235N/mm²

F_e : 主材の基準支圧強度 12.7N/mm²

(2) 耐力算定-2 ①床梁の単位接合部の p_a

②単位接合部の短期※1許容せん断耐力 p_a (床梁) :

事例集p.9の(2.1)式に従って、単位接合部の短期許容せん断耐力 p_a を求める。

事例集表2.2.1より $jK_d = 2$, 事例集表2.2.2より $jK_m = 1$,

事例集表2.2.6より $r_u = 1.0$ (ドリフトピン), 前述の①より $\perp p_y = 16052(N)$

よって事例集(2.1)式より, $\perp p_a = 1/3 \times 2 \times 1 \times 1.0 \times 16052 = 10701(N)$

設計応力 $Q = 19.5(kN) = 19500(N)$ より, 必要本数は, $19500/10701 = 1.8$ 本 $\rightarrow 3$ 本とする。

[規準 602.2 (2) (a) 単位接合部]

単位接合部の設計用許容せん断耐力(p_a)は以下による。

$$p_a = \frac{1}{3} \cdot jK_d \cdot jK_m \cdot r_u \cdot p_y \quad \text{---(2.1) (木規準 p.39 (6.20)式)}$$

p_y : 単位接合部の降伏せん断耐力(N)

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad \text{---(2.2) (木規準 p.30 (6.4)式)}$$

※1: 燃えしろ設計: 短期の許容耐力が長期の応力以上であることを確認する。

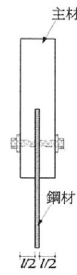
表 2.2.1 荷重継続期間影響係数 jK_d

荷重継続期間	荷重継続期間影響係数 jK_d
長期	1.1
中長期 (長期積雪時)	1.43
中短期 (短期積雪時)	1.6
短期	2

表 2.2.2 含水率影響係数 jK_m

使用環境	含水率影響係数 jK_m
I: 常時湿潤状態におかれる環境	0.7
II: 断続的に湿潤状態となる環境	0.8
III: 通常の使用環境 (I, II以外)	1

表 2.2.6 接合形式(iii): 鋼板挿入2面せん断型*

接合形式	降伏モード	Cの計算式 (下式のうち最小値を取る)	接合種別	r_u	
				ボルト	ドリフトピン
	I	1	JC	1.0	1.0
	III	$\sqrt{2 + \frac{8}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$	JB	1.1	
	IV	$\frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3} \gamma}$	JA	1.2	

* ドリフトピン接合部が繊維平行方向の応力を受ける場合は、ボルト接合部を併用するなどして同時にセンタースリット部で主材が割裂破壊しないようにすること。

(2) 耐力算定-3 ③床梁の接合部[全体]の P_a

③接合部[全体]の短期許容せん断耐力 P_a (床梁) :

次に、事例集p.15～28に従い、接合部[全体]の短期許容せん断耐力 P_a を求める。なお、本接合部は、事例集表2.3.1の③のケースに対応しており、せん断力をドリフトピンで負担している。

表 2.3.1 耐力検討項目

検査すべき耐力項目 接合部のケース		P_{ij}	P_{uw}	
			$\perp P_{uw}$	$\parallel P_{uw}$
①	加力の方向＝ 繊維方向 m=2, n=3	○	—	○
②	加力の方向＝ 繊維方向 m=2, n=3	○	—	—
③	加力の方向＝ 繊維直交方向 m=2, n=3	○	○	—
④	加力の方向＝ 繊維傾斜方向 $0 < \theta < 90^\circ$ m=2, n=3	○	○	○
⑤	加力の方向＝ 繊維傾斜方向 $0 < \theta < 90^\circ$ m=2, n=3	○	○	—

注) P_{ij} : 木材が割裂やせん断、引張りにより破壊しないと仮定した場合の接合部 [全体] の終局せん断耐力(N)

P_{uw} : 木材が割裂やせん断、引張りにより破壊すると仮定した場合の接合部 [全体] の終局せん断耐力(N)

$\perp P_{uw}$: 繊維に直角方向の応力により木材が割裂・せん断により破壊する場合の終局耐力(N)

$\parallel P_{uw}$: 繊維に平行方向の応力により木材がせん断・引張りにより破壊する場合の終局耐力(N)

n : 力の方向に関係なく、木材の繊維平行方向に1列に並ぶ接合具の本数

m : 力の方向に関係なく、木材の繊維直角方向に並ぶ接合具の本数

(2) 耐力算定-4 ③床梁の接合部[全体]の P_a

1) $\perp P_{uj}$ の算定

図より $m=3$, $n=1$, 事例集 表2.3.3より $r_u=1.0$ (ドリフトピン), 前述①より $\perp p_y = 16052(N)$

※繊維に平行方向に並んだ接合具本数が n , 直角方向が m

よって事例集(2.7)式より, $\perp P_{uj} = 3 \times 1 \times 1.0 \times 16052 = 48156(N)$

表 2.3.3 1列の本数(n_i)による耐力低減係数(k_n)と終局強度比(r_u)

	降伏モード	本数 n_i	耐力低減係数 k_n	終局強度比 r_u							
				ボルト	ドリフトピン	ラグスクリュー					
単位接合部の許容耐力計算で求められた接合種別	JA	(IV)	1~2	1.2	1.0	接合形式 (iv) : 1.0					
			3~4				0.95				
			5~10				0.9				
	JB	(II, III)	1~2	1.1			1.0	接合形式 (v) : 1.1			
			3~4						0.92		
			5~6						0.85		
			7~10						0.8		
	JC	(I)	1~2	1.0					1.0	接合形式 (v) : 1.1	
			3~4								0.9
			5~6								0.8
			7~10								0.7
			7~10								0.7

注1: 木規準ではラグスクリューにおける k_n の値は、「実験, 理論, 解析により求める」こととなっている。最近の鋼板添板式ラグスクリュー接合部の実験結果¹⁾によると, 1列の本数の増加に伴うラグスクリュー接合部の耐力低減は, ボルト接合と同様の傾向を示すことが確認されており, k_n 値として表 2.3.3の値を用いることができることとした。ただし, 径の大きいものについては実験により確認するなどの検討が必要である。

注2: 上記の値は, 2面せん断ボルト接合部の実験結果より導いたものであり, ボルト・ドリフトピンによる1面せん断接合部については, 別途検討が必要である。

$m=3, n=1$

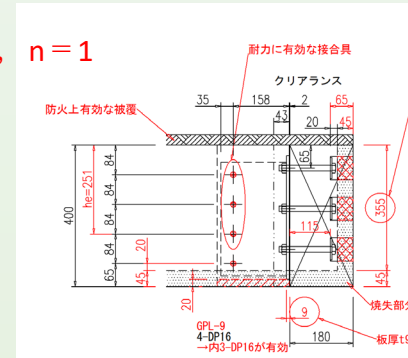


図 桁-床梁接合部

$$\begin{aligned} \perp P_{uj} &= m \cdot n \cdot r_u \cdot \perp p_y \\ &= m \cdot n \cdot r_u \cdot C \cdot \perp F_c \cdot d \cdot l \end{aligned}$$

-(2.7)



(2) 耐力算定-5 ③床梁の接合部[全体]の P_a

2) $\perp P_{uw}$ の算定 (割裂破壊による終局耐力とせん断破壊による終局耐力)

(a) $\perp P_{uw1}$ の算定 (割裂破壊による終局耐力)

事例集 表2.3.8より $C_r = 12.0$ (J1), ドリフトピンの有効長さ $l = 79$ (mm),

図より $h_e = 251$ (mm), $h_e/h = 251/355$ (焼失後) = 0.71

よって事例集(2.11)式より, $\perp P_{uw1} = 2 \times 12.0 \times 79 \times \sqrt{(251/(1-0.71))} = 55779$ (N)

表 2.3.8 割裂破壊定数: C_r の値

樹種	グループ	C_r
べいまつ, からまつ等 (比重 0.50 程度のもの)	J1	12.0
ひのき, もみ等 (比重 0.44 程度のもの)	J2	10.0
すぎ, スプルース等 (比重 0.38 程度のもの)	J3	8.0

$$\perp P_{uw1} = 2C_r \cdot l \cdot \frac{h_e}{\sqrt{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad \text{-(2.11) (木規準 p.36 (6.17)式)}$$

C_r : 割裂破壊定数 (N/mm^{1.5}), (表 2.3.8 による. 木規準 p.37 本文参照)

h : 材せい (mm)

h_e : 加力側材縁から最も遠い接合具までの距離 (mm) (図 2.3.6 又は木規準 p.37 図 6.4 参照)

l : 材厚. ただし, $l \geq 10d$ (d : ボルト径) の場合は, $l = 10d$ とする.

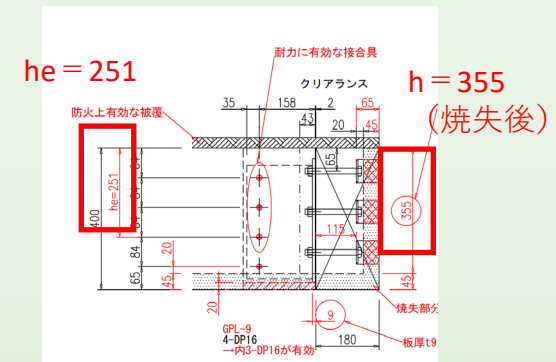


図 桁-床梁接合部

(2) 耐力算定-6 ③床梁の接合部[全体]の P_a

(b) $\perp P_{uw2}$ の算定 (せん断破壊による終局耐力)

次に、材端接合部であるため $\xi = 1.0$ 、図より $h_e = 251$ (mm),

ドリフトピンの有効長さ $l = 79$ (mm), 事例集 表2.3.6より $F_s = 3.6$ (N/mm²)

よって事例集(2.12)式より, $\perp P_{uw2} = 2/3 \times 1.0 \times 251 \times 79 \times 3.6 = 47589$ (N)

よって事例集(2.13)式より, $\perp P_{uw} = \min(\perp P_{uw1}, \perp P_{uw2}) = \perp P_{uw2} = 47589$ (N)

表 2.3.6 構造用集成材のせん断の基準強度

	樹種	せん断の基準材料強度： F_s (N/mm ²)
構造用集成材	べいまつ, からまつ, ひのき等	3.6 (3.0)
	べいつが等	3.3 (2.7)
	スプルース, おうしゅうあかまつ等	3.0 (2.4)
	すぎ等	2.7 (2.1)

注) 括弧内の数値は幅方向の値を示す。

$$\perp P_{uw2} = \frac{2}{3} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l \cdot F_s \quad \text{---(2.12) (木規準 p.36 (6.18)式)}$$

F_s : 木材のせん断基準強度 (N/mm²) (表 2.3.6, 表 2.3.7 による. 本書 p.152 資料表 1.7 参照)

h_e : 加力側材縁から最も遠い接合具までの距離 (mm) (図 2.3.6, 木規準 p.37 図 6.4 参照)

l : 主材厚(mm). ただし, $l \geq 10d$ (d : ボルト径) の場合は, $l = 10d$ とする.

$$\xi: \text{せん断力比}, \xi = \frac{|Q_1 - Q_2|}{\max(|Q_1|, |Q_2|)} \quad \text{(木規準 p.37 図 6.4 参照)}$$

一般に ξ は、材端接合部で 1.0, 材中央では 2.0 となる。

$$\perp P_{uw} = \min(\perp P_{uw1}, \perp P_{uw2}) \quad \text{---(2.13)}$$

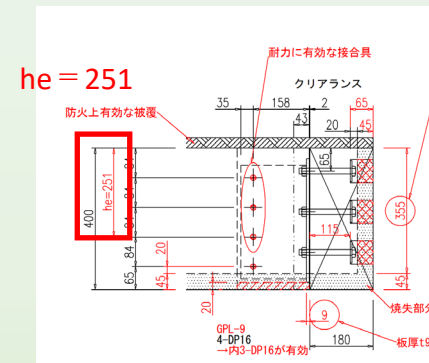


図 桁-床梁接合部

(2) 耐力算定-7 ③床梁の接合部[全体]の P_a

3) P_{u0} の判定

事例集(2.5)式より, $P_{u0} = \min(\perp P_{uj}, \perp P_{uw}) = \perp P_{uw} = 47589(N)$

以上より, 当該接合部は終局時に木材のせん断により破壊するので, 接合種別はJCで, 事例集表2.3.9より $jK_r = 0.75$ となる。

事例集表2.3.10より $jK_d = 2$, 事例集表2.3.11より $jK_m = 1$, $P_{u0} = 47589(N)$ であるから,

事例集(2.15)式より, $P_a = 1/3 \times 0.75 \times 2 \times 1 \times 47589 = 23794(N) > Q = 19500(N) \dots OK$

[規準 602.1 (2) (c) 基準終局せん断耐力]

接合部 [全体] の基準終局せん断耐力: $P_{u0} (N)$

$$P_{u0} = \min(P_{uj}, P_{uw}) \quad - (2.5) \text{ (木規準 p.36 (6.15)式)}$$

表 2.3.11 含水率影響係数(jK_m) (木規準 p.26, 601.2 (1)本文)

使用環境	含水率影響係数: jK_m
I: 常時湿潤状態におかれる環境	0.7
II: 断続的に湿潤状態となる環境	0.8
III: 通常の使用環境 (I, II以外)	1

表 2.3.9 靱性係数(jK_r) (木規準 602.1 (2)(a) 表 6.3)

接合種別	靱性係数: jK_r
JA	1.0
JB	0.9
JC	0.75

表 2.3.10 荷重継続期間影響係数(jK_d) (木規準 p.26, 601.2 (1)本文)

荷重継続期間	荷重継続期間影響係数: jK_d
長期	1.1
中長期 (長期積雪時)	1.43
中短期 (短期積雪時)	1.6
短期	2

[規準 602.2 (2) (b) 接合部 [全体]]

接合部 [全体] の設計用許容せん断耐力(P_a)

検定 2

$$P_a = \frac{1}{3} \cdot jK_r \cdot jK_d \cdot jK_m \cdot P_{u0} \quad - (2.15) \text{ (木規準 p.40 (6.21)式)}$$

接合部 [全体] の応力 \leq 接合部 [全体] の設計用許容せん断耐力 の確認

(2) 耐力算定-8 ④桁の単位接合部の p_y

④単位接合部の降伏耐力 p_y (桁) :

事例集p.9~14に従い, まず始めに単位接合部の降伏せん断耐力 p_y を求める.

事例集 表2.2.3より $\perp F_e = 12.7(\text{N/mm}^2)$, 設計条件より $d = 16(\text{mm})$,

ボルトの有効長さは, $l = 180 - 65 = 130(\text{mm})$

※有効長さ = 部材厚180mm - 座堀深さ65mm

事例集 表2.2.8より, 降伏モードIVとなり, $C = 0.488$ (→接合種別JA)

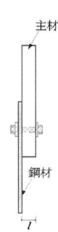
よって事例集(2.2)式より, $\perp p_y = 0.488 \times 12.7 \times 16 \times 115 = 11419(\text{N})$

表 2.2.3 樹種グループと基準支圧強度 F_e の値 ($8\text{mm} \leq d \leq 26\text{mm}$)

樹種グループ	樹種	基準比重	基準支圧強度 F_e (N/mm ²)						
			荷重角度						
			0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
J1	べいまつ・からまつ等 (比重 0.50 程度)	0.42	25.4	23.8	20.3	16.9	14.5	13.1	12.7
J2	ひのき等 (比重 0.44 程度)	0.37	22.4	21.0	17.9	14.9	12.8	11.6	11.2
J3	スプルス・すぎ等 (比重 0.38 程度)	0.32	19.4	18.2	15.5	12.9	11.1	10.0	9.7

注) 荷重角度とは, 接合具による支圧の方向と当該木材の繊維方向とのなす角度をいい, 荷重角度(θ)における基準支圧強度(θF_e)は, (2.3)式により求める。

表 2.2.8 接合形式(v): 鋼板添え板 1 面せん断型*

接合形式	降伏モード	C の計算式	接合種別	r_u	
				ボルト	ラクスクリュー
	I	1	JC	1.0	1.1
	III	$\sqrt{2 + \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$	JB	1.1	
	IV	$\frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3} \gamma}$	JA	1.2	

* 鋼板の厚さは木規準 p.38 表 6.4 に示す引張ボルトの座金の厚さ以上とする。

[規準 602.2 (2) (a) 単位接合部]

単位接合部の設計用許容せん断耐力(p_a)は以下による。

$$p_a = \frac{1}{3} \cdot jK_d \cdot jK_m \cdot r_u \cdot p_y \quad \text{-(2.1) (木規準 p.39 (6.20)式)}$$

p_y : 単位接合部の降伏せん断耐力(N)

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad \text{-(2.2) (木規準 p.30 (6.4)式)}$$

$$\gamma = F/F_e = 235/12.7$$

F: 接合具の基準強度235N/mm²

F_e: 主材の基準支圧強度12.7N/mm²

(2) 耐力算定-9 ⑤桁の単位接合部の p_a

⑤単位接合部の短期許容せん断耐力 p_a (桁) :

事例集p.9の(2.1)式に従い, 単位接合部の短期許容せん断耐力 p_a を求める.

事例集表2.2.1より $jK_d = 2$, 事例集表2.2.2より $jK_m = 1$,

事例集表2.2.8より $r_u = 1.2$ (ボルト), 前述④より $\perp p_y = 11419$ (N)

よって事例集(2.1)式より, $\perp p_a = 1/3 \times 2 \times 1 \times 1.2 \times 11419 = 9135$ (N)

設計応力 $Q = 19.5$ (kN) = 19500 (N)より, 必要本数は, $19500 / 9135 = 2.1$ 本 $\rightarrow 4$ 本とする.

[規準 602.2 (2) (a) 単位接合部]

単位接合部の設計用許容せん断耐力(p_a)は以下による.

$$p_a = \frac{1}{3} \cdot jK_d \cdot jK_m \cdot r_u \cdot p_y \quad \text{---(2.1) (木規準 p.39 (6.20)式)}$$

p_y : 単位接合部の降伏せん断耐力(N)

$$p_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad \text{---(2.2) (木規準 p.30 (6.4)式)}$$

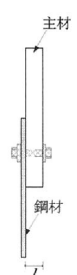
表 2.2.1 荷重継続期間影響係数 jK_d

荷重継続期間	荷重継続期間影響係数 jK_d
長期	1.1
中長期 (長期積雪時)	1.43
中短期 (短期積雪時)	1.6
短期	2

表 2.2.2 含水率影響係数 jK_m

使用環境	含水率影響係数 jK_m
I: 常時湿潤状態におかれる環境	0.7
II: 断続的に湿潤状態となる環境	0.8
III: 通常の使用環境 (I, II以外)	1

表 2.2.8 接合形式(v): 鋼板添え板 1面せん断型*

接合形式	降伏モード	Cの計算式	接合種別	r_u	
				ボルト	ラグ・スクリュー
	I	1	JC	1.0	1.1
	III	$\sqrt{2 + \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$	JB	1.1	
	IV	$\frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3} \gamma}$	JA	1.2	

* 鋼板の厚さは木規準 p.38 表 6.4 に示す引張ボルトの座金の厚さ以上とする.

(2) 耐力算定-10 ⑥桁の接合部[全体]の P_a

⑥接合部[全体]の短期許容せん断耐力 P_a (桁) :

次に、事例集p.15～28に従い、接合部[全体]の短期許容せん断耐力 P_a を求める。なお、本接合部は、事例集表2.3.1の③のケースに対応しており、せん断力をボルトで負担している。

表 2.3.1 耐力検討項目

接合部のケース		検討すべき耐力項目	P_{ij}	P_{uw}	
				$\perp P_{uw}$	$\parallel P_{uw}$
①	加力の方向 = 繊維方向 	$m=2, n=3$	○	-	○
②	加力の方向 = 繊維方向 	$m=2, n=3$	○	-	-
③	加力の方向 = 繊維直交方向 	$m=2, n=3$	○	○	-
④	加力の方向 = 繊維傾斜方向 $0 < \theta < 90^\circ$ 	$m=2, n=3$	○	○	○
⑤	加力の方向 = 繊維傾斜方向 $0 < \theta < 90^\circ$ 	$m=2, n=3$	○	○	-

注) P_{ij} : 木材が割裂やせん断、引張りにより破壊しないと仮定した場合の接合部 [全体] の終局せん断耐力(N)

P_{uw} : 木材が割裂やせん断、引張りにより破壊すると仮定した場合の接合部 [全体] の終局せん断耐力(N)

$\perp P_{uw}$: 繊維に直角方向の応力により木材が割裂・せん断により破壊する場合の終局耐力(N)

$\parallel P_{uw}$: 繊維に平行方向の応力により木材がせん断・引張りにより破壊する場合の終局耐力(N)

n : 力の方向に関係なく、木材の繊維平行方向に1列に並ぶ接合具の本数

m : 力の方向に関係なく、木材の繊維直角方向に並ぶ接合具の本数

(2) 耐力算定-11 ⑥桁の接合部[全体]の P_a

1) $\perp P_{uj}$ の算定

図より $m=2$, $n=2$, 事例集 表2.3.3より $r_u=1.2$ (ボルト), 前述④より $\perp p_y = 11419$ (N)

※繊維に平行方向に並んだ接合具本数が n , 直角方向が m

よって事例集(2.6)式より, $\perp P_{uj} = 2 \times 2 \times 1.2 \times 11419 = 54811$ (N)

表 2.3.3 1列の本数(n_i)による耐力低減係数(K_n)と終局強度比(r_u)

	降伏モード	本数 n_i	耐力低減係数 K_n	終局強度比 r_u		
				ボルト	ドリフトピン	ラグスクリュー
単位接合部の許容耐力計算で求められた接合種別	JA	(IV)	1~2	1.0	1.2	1.0
			3~4	0.95		
			5~10	0.9		
	JB	(II, III)	1~2	1.0	1.1	
			3~4	0.92		
			5~6	0.85		
			7~10	0.8		
	JC	(I)	1~2	1.0	1.0	
			3~4	0.9		
			5~6	0.8		
			7~10	0.7		

注1: 木規準ではラグスクリューにおける K_n の値は、「実験、理論、解析により求める」こととなっている。最近の鋼板添板式ラグスクリュー接合部の実験結果¹⁾によると、1列の本数の増加に伴うラグスクリュー接合部の耐力低減は、ボルト接合と同様の傾向を示すことが確認されており、 K_n 値として表2.3.3の値を用いることができることとした。ただし、径の大きいものについては実験により確認するなどの検討が必要である。

注2: 上記の値は、2面せん断ボルト接合部の実験結果より導いたものであり、ボルト・ドリフトピンによる1面せん断接合部については、別途検討が必要である。

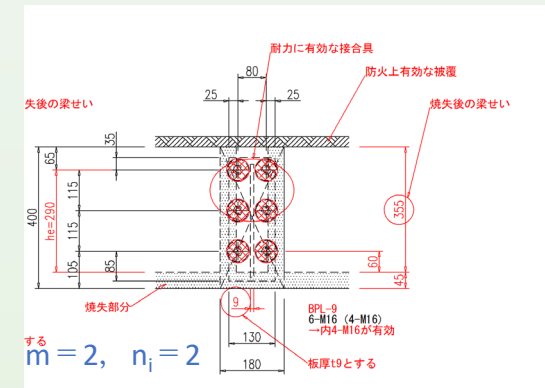


図 桁-床梁接合部

$$\begin{aligned} \perp P_{uj} &= m \cdot n \cdot r_u \cdot \perp p_y \\ &= m \cdot n \cdot r_u \cdot C \cdot \perp F_e \cdot d \cdot l \end{aligned}$$

-(2.7)

(2) 耐力算定-12 ⑥桁の接合部[全体]の P_a

2) $\perp P_{uw}$ の算定 (割裂破壊による終局耐力とせん断破壊による終局耐力)

(a) $\perp P_{uw1}$ の算定 (割裂破壊による終局耐力)

事例集 表2.3.8より $C_r = 12.0$ (J1), ボルトの有効長さ $l = 115$ (mm),

図より $h_e = 290$ (mm), $h_e/h = 290/355$ (焼失後) = 0.81

よって事例集(2.11)式より, $\perp P_{uw1} = 2 \times 12.0 \times 115 \times \sqrt{((290/(1-0.81)))} = 109841$ (N)

表 2.3.8 割裂破壊定数: C_r の値

樹種	グループ	C_r
べいまつ, からまつ等 (比重 0.50 程度のもの)	J1	12.0
ひのき, もみ等 (比重 0.44 程度のもの)	J2	10.0
すぎ, スプルース等 (比重 0.38 程度のもの)	J3	8.0

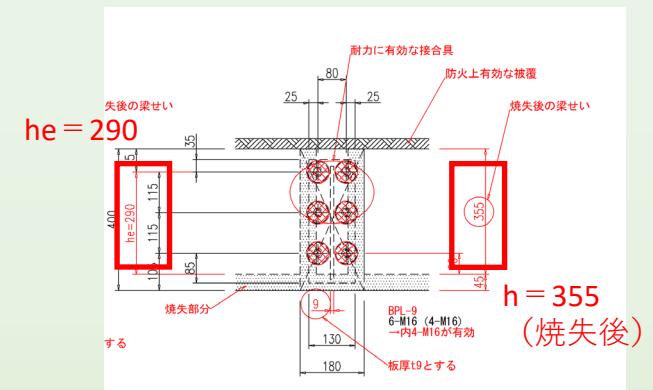
$$\perp P_{uw1} = 2 C_r \cdot l \cdot \frac{h_e}{\sqrt{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad \text{-(2.11) (木規準 p.36 (6.17)式)}$$

C_r : 割裂破壊定数 (N/mm^{1.5}), (表 2.3.8 による. 木規準 p.37 本文参照)

h : 材せい (mm)

h_e : 加力側材縁から最も遠い接合具までの距離 (mm) (図 2.3.6 又は木規準 p.37 図 6.4 参照)

l : 材厚. ただし, $l \geq 10d$ (d : ボルト径) の場合は, $l = 10d$ とする.



(2) 耐力算定-13 ⑥桁の接合部[全体]の P_a

(b) $\perp P_{uw2}$ の算定 (せん断破壊による終局耐力)

次に、材中央接合部であるため $\xi = 2.0$ 、図より $h_e = 290(\text{mm})$ 、

ボルトの有効長さ $l = 115(\text{mm})$ 、事例集表2.3.6より $F_s = 3.6(\text{N}/\text{mm}^2)$

よって事例集(2.12)式より、 $\perp P_{uw2} = 2/3 \times 2.0 \times 290 \times 115 \times 3.6 = 160080(\text{N})$

よって事例集(2.13)式より、 $\perp P_{uw} = \min(\perp P_{uw1}, \perp P_{uw2}) = \perp P_{uw1} = 109841(\text{N})$

表 2.3.6 構造用集成材のせん断の基準強度

	樹種	せん断の基準材料強度： F_s (N/mm ²)
構造用集成材	べいまつ、からまつ、ひのき等	3.6 (3.0)
	べいつが等	3.3 (2.7)
	スプルース、おうしゅうあかまつ等	3.0 (2.4)
	すぎ等	2.7 (2.1)

注) 括弧内の数値は幅方向の値を示す。

$$\perp P_{uw2} = \frac{2}{3} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l \cdot F_s \quad \text{---(2.12) (木規準 p.36 (6.18)式)}$$

F_s : 木材のせん断基準強度 (N/mm²) (表 2.3.6, 表 2.3.7 による. 本書 p.152 資料表 1.7 参照)

h_e : 加力側材縁から最も遠い接合具までの距離 (mm) (図 2.3.6, 木規準 p.37 図 6.4 参照)

l : 主材厚(mm). ただし、 $l \geq 10d$ (d : ボルト径) の場合は、 $l = 10d$ とする.

$$\xi: \text{せん断力比}, \quad \xi = \frac{|Q_1 - Q_2|}{\max(|Q_1|, |Q_2|)} \quad \text{(木規準 p.37 図 6.4 参照)}$$

一般に ξ は、材端接合部で 1.0, 材中央では 2.0 となる.

$$\perp P_{uw} = \min(\perp P_{uw1}, \perp P_{uw2}) \quad \text{---(2.13)}$$

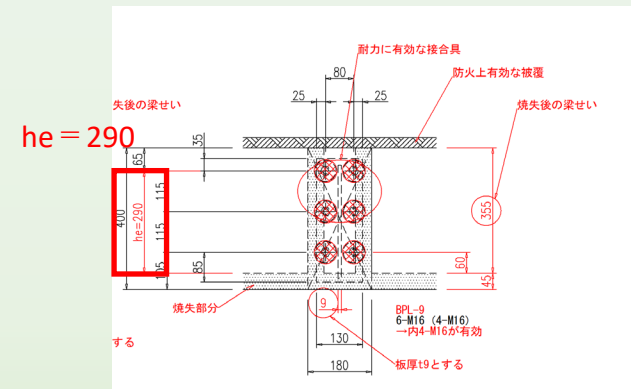


図 桁-床梁接合部

(2) 耐力算定-14 ⑥桁の接合部[全体]の P_a

3) P_{u0} の判定

事例集(2.5)式より, $P_{u0} = \min(\perp P_{uj}, \perp P_{uw}) = \perp P_{uj} = 54811(N)$

以上より, 当該接合部は終局時に木材の割裂, せん断, 引張りにより破壊しないので, 接合種別はJAで, 事例集 表2.3.9より $jK_r = 1.0$ となる。

事例集 表2.3.10より $jK_d = 2$, 事例集 表2.3.11より $jK_m = 1$, $P_{u0} = 54811(N)$ であるから,

事例集(2.15)式より, $P_a = 1/3 \times 1.0 \times 2 \times 1 \times 54811 = 36540(N) > Q = 19500(N) \dots OK$

→せん断応力に対して有効なボルトは4本でOK

[規準 602.1 (2) (c) 基準終局せん断耐力]

接合部 [全体] の基準終局せん断耐力: $P_{u0} (N)$

$$P_{u0} = \min(P_{uj}, P_{uw}) \quad - (2.5) \text{ (木規準 p.36 (6.15)式)}$$

表 2.3.11 含水率影響係数(jK_m) (木規準 p.26, 601.2 (1)本文)

使用環境	含水率影響係数: jK_m
I: 常時湿潤状態におかれる環境	0.7
II: 断続的に湿潤状態となる環境	0.8
III: 通常の使用環境 (I, II以外)	1

表 2.3.9 靱性係数(jK_r) (木規準 602.1 (2)(a) 表 6.3)

接合種別	靱性係数: jK_r
JA	1.0
JB	0.9
JC	0.75

表 2.3.10 荷重継続期間影響係数(jK_d) (木規準 p.26, 601.2 (1)本文)

荷重継続期間	荷重継続期間影響係数: jK_d
長期	1.1
中長期 (長期積雪時)	1.43
中短期 (短期積雪時)	1.6
短期	2

[規準 602.2 (2) (b) 接合部 [全体]]

接合部 [全体] の設計用許容せん断耐力(P_a)

検定 2

$$P_a = \frac{1}{3} \cdot jK_r \cdot jK_d \cdot jK_m \cdot P_{u0} \quad - (2.15) \text{ (木規準 p.40 (6.21)式)}$$

接合部 [全体] の応力 \leq 接合部 [全体] の設計用許容せん断耐力 の確認

おわりに

この資料で、燃えしろ設計のイメージを持っていたただけたなら幸いです。

ご清聴ありがとうございました。